

# Thermal evolution of primitive hydrous asteroids inferred from mineralogy, isotope and chemical compositions of dehydrated carbonaceous chondrites

著者	中藤 亜衣子
number	55
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	理博第2714号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/56891">http://hdl.handle.net/10097/56891</a>

氏名・(本籍)	なかとうあいこ 中 藤 亜衣子
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	理博第2714号
学位授与年月日	平成24年3月27日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科, 専攻	東北大学大学院理学研究科(博士課程)地学専攻
学位論文題目	Thermal evolution of primitive hydrous asteroids inferred from mineralogy, isotope and chemical compositions of dehydrated carbonaceous chondrites (加熱脱水炭素質コンドライト隕石の鉱物学, 同位体, 化学組成から推定される含水始原天体の熱進化)
論文審査委員	(主査) 教授 中 村 智 樹 教授 塚 本 勝 男 教授 掛 川 武 教授 大 谷 栄 治 教授 藤 巻 宏 和 教授 石 渡 明 教授 吉 田 武 義

## 論文目次

### 1. INTRODUCTION

#### 1.1. METEORITE CLASSIFICATION

#### 1.2. CARBONACEOUS CHONDRITES AND THEIR PARENT ASTEROIDS

##### 1.2.1. Carbonaceous chondrites

##### 1.2.2. Parent bodies of carbonaceous chondrites

#### 1.3. DEHYDRATED CARBONACEOUS CHONDRITES

#### 1.4. OXYGEN ISOTOPE COMPOSITIONS

### 2. SAMPLES AND ANALYTICAL PROCEDURES

#### 2.1. SAMPLES

#### 2.2. ANALYTICAL METHODS

##### 2.2.1. Synchrotron radiation X-ray diffraction analysis

##### 2.2.2. Electron microscope analysis

##### 2.2.3. Micro-Raman spectroscopy analysis

##### 2.2.4. Transmission electron microscope analysis

2.2.5. *Heating experiments for reproduction of dehydrated carbonaceous chondrites*

### 3. IMPROVEMENT OF OXYGEN ISOTOPE ANALYTICAL SYSTEM

### 4. RESULTS

- 4.1. PETROLOGY OF DEHYDRATED CARBONACEOUS CHONDRITES
- 4.2. MINERALOGY OF DEHYDRATED CARBONACEOUS CHONDRITES
- 4.3. CHEMICAL COMPOSITIONS
- 4.4. MATURITY OF ORGANIC MATERIALS
- 4.5. OXYGEN ISOTOPE COMPOSITIONS

### 5. DISCUSSION

- 5.1. TEMPERATURE ESTIMATION OF DEHYDRATED CM AND CM-LIKE CHONDRITES
  - ~mineral combinations~*
  - ~sulfide mineralogy and texture~*
  - ~maturity of organic material~*
  - ~summary of temperature estimation~*
- 5.2. POSSIBILITY OF NEW CARBONACEOUS CHONDRITE GROUP
  - ~near CCAM line group~*
  - ~near TF line group~*
- 5.3. POSSIBLE HEAT SOURCE FOR DEHYDRATION
  - 5.3.1. *Heat source of weakly and moderately heated groups*
  - 5.3.2. *Heat source of strongly heated groups*
- 5.4. HEATING EVENTS OF C-TYPE ASTEROID

### 6. CONCLUSIONS

### ACKNOWLEDGEMENTS

### REFERENCES

## 論文内容要旨

Dehydrated carbonaceous chondrites have been discovered over the past 30 years. They are apparently hydrous carbonaceous chondrites like CI, CM, and CR chondrites but show evidence of dehydration due to high temperature heating after aqueous alteration in their parent asteroids. Majority of hydrous carbonaceous chondrites are known to come from C-type asteroids, which are the most abundant and primitive asteroids in the asteroid belt. Therefore, thermal evolution of dehydrated carbonaceous chondrites is important to

understand the material evolution of the primitive hydrous asteroids. The ranges of mineralogical and chemical variations in dehydrated carbonaceous chondrites should reflect diversity of the hydrous asteroids that underwent thermal evolution. In this study, detailed mineralogical, isotope and compositional properties of eight dehydrated chondrites were characterized by various analytical methods in order to recognize the variations of dehydrated CM and CM-like chondrites.

Based on synchrotron X-ray diffraction (XRD) analysis, I classified all samples into three groups according to the degree of heating. Weakly heated group: EET 87522, PCA 91084, Yamato86695, LAR 06318, and ALH 84033. Moderately heated group: DOM 03183. Strongly heated group: Belgica (B-) 7904 and Dhofar (Dho) 735. The weakly and moderately heated groups show low maturation grade of organics, and incompletely dehydration of matrix phyllosilicate. On a three oxygen isotope plot, most samples in these two groups distribute along a CM-CO-Tagish Lake line. It indicates that these chondrites formed from the same oxygen isotopic reservoir.

Among weakly heated group, LAR06318, PCA91084, and ALH84033 have unique oxygen isotopic compositions: they are plotted on or close to CCAM line and not on the CM-CO-Tagish Lake line. TEM and FE-SEM observation indicates that matrix of LAR06318 have high abundance of primary Mg-rich anhydrous silicates. However, major parts of matrices of these samples consist of phyllosilicates and decomposed phyllosilicates. Therefore, bulk oxygen isotope analysis suggests that hydrous phases in the matrices of these samples have oxygen compositions that falls on the CCAM line. This result concludes that these three samples are distinguished from typical CM chondrite group ever discovered.

On the other hand, the strong heated group shows high maturation grade of organics, and completely dehydration of matrix phyllosilicates. Besides, primary olivine grains at outer edges of chondrules in B-7904 and Dhofar735 ubiquitously show narrow Fe-Mg zoning. Since Mg-Fe inter-diffusion rates is faster than any cation diffusion rates in silicate crystals in CM chondrites, it implies that durations of heating is much shorter than those expected for internal heating that keeps maximum temperature over million years. Therefore, it is unlikely that the short-lived radionuclide  $^{26}\text{Al}$  is a heat source for dehydration of these two chondrites. Additionally, their chemical composition of matrix and bulk oxygen isotopic compositions differ from the other samples. Based on all results obtained from B-7904 and Dhofar735, the conditions of aqueous alteration and thermal metamorphism in their parent asteroids might be completely different from the other dehydrated CM or CM-like carbonaceous chondrites.

All results taken together, it is concluded that the degree of heating and the original mineralogy prior to heating vary among eight hydrous carbonaceous chondrites, which results in a wide variation of dehydrated primitive asteroids in mineralogy and organic chemistry. In addition, with respect to oxygen isotope ratios, I found two new groups of hydrous carbonaceous chondrites that have been heated and dehydrated. Including this new groups, dehydrated carbonaceous chondrites present in the most hydrous carbonaceous chondrites groups. This suggests that heating events postdated aqueous alteration might have been common in C-type asteroids.

## 論文審査の結果の要旨

中藤亜衣子提出の論文は、水質変質後に加熱脱水を経験したCM炭素質コンドライト隕石に対し、鉱物学、岩石学的観察と化学組成分析、酸素同位体組成分析を行うことで、初期太陽系に存在した含水微惑星の熱進化過程を明らかにしたものである。実験結果の詳細は、下記のようにまとめられる。まず、CMコンドライトとして分類された40試料に対して、高エネルギー加速器研究機構の放射光X線回折分析を行い、加熱脱水を経験した8試料を同定した。この8試料の鉱物学・岩石学の観察には、光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡、透過型電子顕微鏡を用いた。透過型電顕の試料作製は、ウルトラマイクロトームを使用した。有機物の分析には顕微ラマン分光装置を用い、酸素同位体分析には韓国国立極地研究所の質量分析計を利用した。

第一章では、炭素質コンドライト隕石の分類と加熱脱水された試料に関する先行研究についてまとめている。第二章では、本論文の研究対象である隕石試料および分析手法の説明を行っている。第三章では、酸素同位体分析装置の装置改良について説明があり、この改良によって、これまでは困難であった層状ケイ酸塩を含む始原隕石の酸素同位体比測定時の酸素収率が改善された。第四章では、加熱脱水した8試料に対する観察・分析結果を示している。放射光X線回折分析と岩石学的観察の結果、8試料は加熱温度の違いにより、熱変成度が強・中・弱の3グループに分けられることを示した。それぞれのグループは、層状ケイ酸塩の分解の程度、再結晶した無水ケイ酸塩の結晶化度、硫化物の微細組織などが異なる。また、ラマン分光分析により、炭素質物質の熟成度にも差異があることが認められた。酸素同位体比は8試料すべて異なるが、加熱脱水されていない通常のCMコンドライトと同じ組成の試料と、異なる組成の試料が存在することがわかった。第五章では、鉱物組み合わせ、硫化物微細組織、炭素質物質熟成度に基づいた熱変成温度を推定した。熱変成度が強・中・弱の3グループのそれぞれの変成温度は300～500℃、500～600℃、750～1000℃と見積もられた。また、酸素同位体比が通常のCMコンドライトと異なる試料は、新しいタイプの炭素質隕石であることを指摘している。分析結果を総合的に考えると、熱変成度が強の隕石グループは、衝撃により加熱脱水した可能性が高いと結論した。

以上の研究は、中藤亜衣子が自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。したがって、中藤亜衣子提出の博士論文は、博士（理学）の学位論文として合格と認める。